



Reconstrucción de la vegetación asociada al depósito tobáceo fluvial Holoceno del Nogal de El Batán, Las Parras del Martín, Cordillera Ibérica

Vegetation reconstruction related to Nogal de El Batán Holocene fluvial tufa buildup, Las Parras del Martín, Iberian Range

Aranbarri, J. ⁽¹⁾; Sancho, C. ^(2, *); Arenas, C. ⁽²⁾; Bartolomé, M. ⁽³⁾; Leunda, M. ⁽⁴⁾; Rico, M.T. ⁽⁵⁾; González-Sampériz, P. ⁽⁵⁾

(1) Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU. C/ Tomás y Valiente, s/n, 01006, Vitoria-Gasteiz, España. josu.aranbarri@ehu.eus

(2) Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12, 50009, Zaragoza, España.

(3) Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC.

C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006, Madrid, España.

(4) Institute of Plant Sciences and Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern, Altenbergrain, 21 3013, Bern, Switzerland.

(5) Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global, Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC. Avda/ Montañana, 1005, 50059, Zaragoza, España.

Resumen

El desarrollo de edificios tobáceos de origen fluvial se asocia a menudo con fases cálidas y húmedas cuaternarias y son comúnmente empleados como indicadores climáticos. En el presente trabajo se estudia el depósito tobáceo fluvial Holoceno del Nogal de El Batán, situado en el valle del río Las Parras (Cordillera Ibérica, NE España), bajo una perspectiva cronológica, estratigráfica y palinológica. La acumulación tobácea de 8,2 m de espesor, intercala gravas, facies de *rudstones* de fitoclastos, *boundstones* de tallos, limos y arenas de composición carbonatada, además de margas, *lime mud* y niveles turbosos. La acumulación tobácea se emplaza en el Holoceno temprano final (ca. 8400 cal BP) y se correlaciona con los cambios ambientales ocurridos en la región, identificando tres fases principales. Los análisis polínicos señalan un paisaje dominado por coníferas en la base de la secuencia, esencialmente con *Pinus nigra/sylvestris* tipo y *Juniperus*, mientras que localmente se desarrolla un bosque ripario donde destacan *Corylus*, *Alnus*, *Salix*, *Populus*, *Celtis*, *Fraxinus*, *Tamarix* y Rosaceae. En el Holoceno medio (ca. 8000-5000 cal BP) se produce la máxima expansión de las quercíneas, junto con taxones termófilos como *Pistacia*, *Rhamnus*, *Arbutus* y *Olea*. El incremento de taxones herbáceos

* Fallecido en febrero de 2019.



y ruderales, y en especial la aparición de esporas coprófilas, marca la expansión agro-pastoril a lo largo del valle fluvial durante el Holoceno tardío (ca. 4300 cal BP).

Palabras clave: Tobas fluviales; MIS 1; Palinología; Paleoambiente; Cordillera Ibérica

Abstract

Development of Quaternary fluvial tufa buildings are often associated with warm and humid phases and are commonly used as climate indicators. El Nogal de El Batán Holocene fluvial tufa buildup, located in Las Parras River valley (Iberian Range, NE Spain), is investigated, following radiocarbon dating, stratigraphic description and palynological analysis. The studied deposit, 8.2 m-thick, is formed of gravels, phytoclast rudstones, calcite-coated stem boundstones and fine carbonate deposits (sands, silts and marls) with peaty horizons and carbonaceous debris. It has been dated within the upper early Holocene (ca. 8400 cal BP) and correlated with the environmental changes reconstructed for the region, identifying at least, three main phases. Pollen results highlight the existence of a conifer landscape, mainly dominated by *Pinus nigra/sylvestris* type and *Juniperus*, and locally dense riparian woodland with *Corylus*, *Alnus*, *Salix*, *Populus*, *Celtis*, *Fraxinus*, *Tamarix* and Rosaceae. Deciduous and evergreen oaks were the main spread regional forests accompanied by many warm-loving taxa like *Pistacia*, *Rhamnus*, *Arbutus* and *Olea* during the middle Holocene (ca. 8000-5000 cal BP). The transition towards the late Holocene (ca. 4300 cal BP) is evidenced by the rise of herbs and ruderal taxa, and especially the presence of coprophilous fungi, which are linked to the spread of agricultural and grazing practices along the river valley.

Key words: Fluvial tufas; MIS 1; Palynology; Palaeoenvironment; Iberian Range

1. Introducción

La Cordillera Ibérica presenta, de manera generalizada, depósitos tobáceos asociados a la red de drenaje actual y pasada (Peña-Monné *et al.*, 2014). Estos carbonatos continentales representan la respuesta sedimentaria externa a la dinámica de los sistemas kársticos y, como consecuencia, constituyen excelentes archivos paleoambientales (Taylor *et al.*, 1994; González-Amuchastegui y Serrano, 2013; Sancho *et al.*, 2015). En la provincia de Teruel destacan las acumulaciones tobáceas a lo largo de los valles de los ríos Matarraña, Guadalaviar, Mijares y Martín, que han sido objeto de diferentes investigaciones a lo largo de las últimas décadas (Martínez-Tudela *et al.*, 1986; Sancho *et al.*, 1997; Peña-Monné *et al.*, 2000, 2014; Valero-Garcés *et al.*, 2008; Rico *et al.*, 2013). También existen edificios tobáceos remarcables en el nacimiento del río Pitarque y en los Amanaderos de Riodeva, entre otros lugares (Vázquez-Navarro *et al.*, 2014). En el valle del río Ebrón, en el en-

clave valenciano de Teruel, las tobas forman potentes series en el Holoceno y Pleistoceno (Lozano *et al.*, 2012). En este tipo de depósitos carbonatados, adquiere especial protagonismo el contenido paleobotánico, objeto de numerosos estudios, tanto biogeográficos como estratigráficos y sedimentológicos, a escala europea (Bridgland *et al.*, 1999; Dabkowski, 2014). La información paleobotánica está constituida por diversos restos de carbón y maderas semifosilizadas, impresiones vegetales y palinomorfos. Los carbones preservados se asocian a incendios, tanto naturales como antropogénicos (Dabkowski, 2014), mientras que las impresiones vegetales definen la asociación de la flora local, llegando a permitir gran precisión en términos taxonómicos (Peñalver *et al.*, 2002; Ali *et al.*, 2003; Roiron *et al.*, 2013).

A diferencia de los estudios de macroflora, la palinología aplicada a contextos de carbonatos fluviales ha sido poco explotada como herramienta paleoambiental, debido a las ba-

jas concentraciones polínicas obtenidas y los múltiples sesgos tafonómicos (Bertini *et al.*, 2014). No obstante, este tipo de registro es de los pocos archivos sedimentarios bien preservados en ámbito continental (Taylor *et al.*, 1998; Vermoere *et al.*, 1999; Ricci *et al.*, 2015; Aranbarri *et al.*, 2016; Tagliasacchi y Kayseri-Özer, 2020) y complementan los estudios palinológicos procedentes de registros lacustres (Aranbarri *et al.*, 2016). De este modo, mediante el estudio detallado del contenido espora-polínico de los depósitos tobáceos, también es posible reconstruir la dinámica de la vegetación en periodos temporales poco conocidos, trazando con exactitud la distribución pretérita de las comunidades vegetales. Además, aportan información acerca del ambiente sedimentario (Bertini *et al.*, 2014; Ricci *et al.*, 2015).

En el presente trabajo, se pretende conocer la historia de la vegetación a partir de indicadores palinológicos en una zona donde los estudios paleoambientales son fragmentarios y, en general, con un control cronológico deficitario. Por ello, se ha seleccionado el depósito tobáceo del Nogal de El Batán, en el valle del río Las Parras, aguas abajo de la localidad de Las Parras de Martín, del que se conoce bien su marco estratigráfico y cronológico (Sancho *et al.*, 1997; Valero-Garcés *et al.*, 2008; Rico *et al.*, 2013) y que presenta un gran potencial para estudios paleobotánicos. La correlación con secuencias palinológicas (Stevenson, 2000; Aranbarri *et al.*, 2014, 2016) y antracológicas regionales (Aranbarri *et al.* 2016; Alcolea, 2017) permite contextualizar el desarrollo vegetal durante el Holoceno al sur de la Cordillera Ibérica, estableciendo así su marco evolutivo.

2. Área de estudio

Las Parras de Martín es una localidad del término municipal de Utrillas, en la provincia de Teruel, a unos 1080 metros de altitud, que se sitúa cerca del río de Las Parras (Fig. 1A). El río de las Parras discurre de Sur a Norte hasta unirse al río Martín. La región está formada por materiales mesozoicos carbonatados del Jurásico inferior (dolomías y calizas), Cretá-

co inferior (calizas, margas, arenas y arcillas) y Cretácico superior (calizas y dolomías) (Fig. 2), presentando estructuras tectónicas complejas de orientación NO-SE y NE-SO. Geomorfológicamente, la erosión diferencial cuaternaria asociada al establecimiento de la red de drenaje (Fig. 1B), ha dado lugar a diversos relieves de gran envergadura. Destacan los depósitos tobáceos de edad pleistocena (Peña-Monné *et al.*, 2000; Valero-Garcés *et al.*, 2008; Rico *et al.*, 2013; Sancho *et al.*, 2015), además de las múltiples geoformas asociadas a procesos periglaciares (Peña-Monné *et al.*, 2017). A lo largo del valle del río Las Parras se encuentran otros afloramientos tobáceos de edad holocena (Fig. 2).

El clima a nivel regional se caracteriza por ser del tipo Mediterráneo continental, con unas oscilaciones térmicas acusadas tanto a escala diaria como estacional. La temperatura media anual es de 11°C, con una amplitud térmica promedio que llega a los 15-20°C. La precipitación anual es de unos 400 mm, aumentando ligeramente cerca de las estribaciones montañosas.

En cuanto a la flora, la heterogeneidad litológica explica en gran medida la diversidad de paisajes vegetales, albergando sabinares y encinares en las parameras calcáreas, pinares en cotas más elevadas y flora plano-caducifolia en los cursos fluviales y vaguadas umbrías.

El afloramiento del Nogal de El Batán se emplaza en el piso meso-Mediterráneo, caracterizado por un bosque esclerófilo dominado por encinares (*Quercus ilex*) y quejigales (*Q. faginea*), con abundante matorral xerofítico (*Thymus vulgaris*, *Salvia rosmarinus*, *Lavandula latifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Genista scorpius*, *Ephedra fragilis*). En las parameras calcícolas con suelos pobremente evolucionados, son los sabinares los que adquieren protagonismo (*Juniperus phoenicea*, *J. thurifera*). En las zonas por encima de 1500 m, serán los pinares de tipo albar y negro (*Pinus sylvestris* y *P. nigra*, respectivamente) las comunidades predominantes, acompañados por matorral compuesto por *Buxus sempervirens*, *Junipe-*

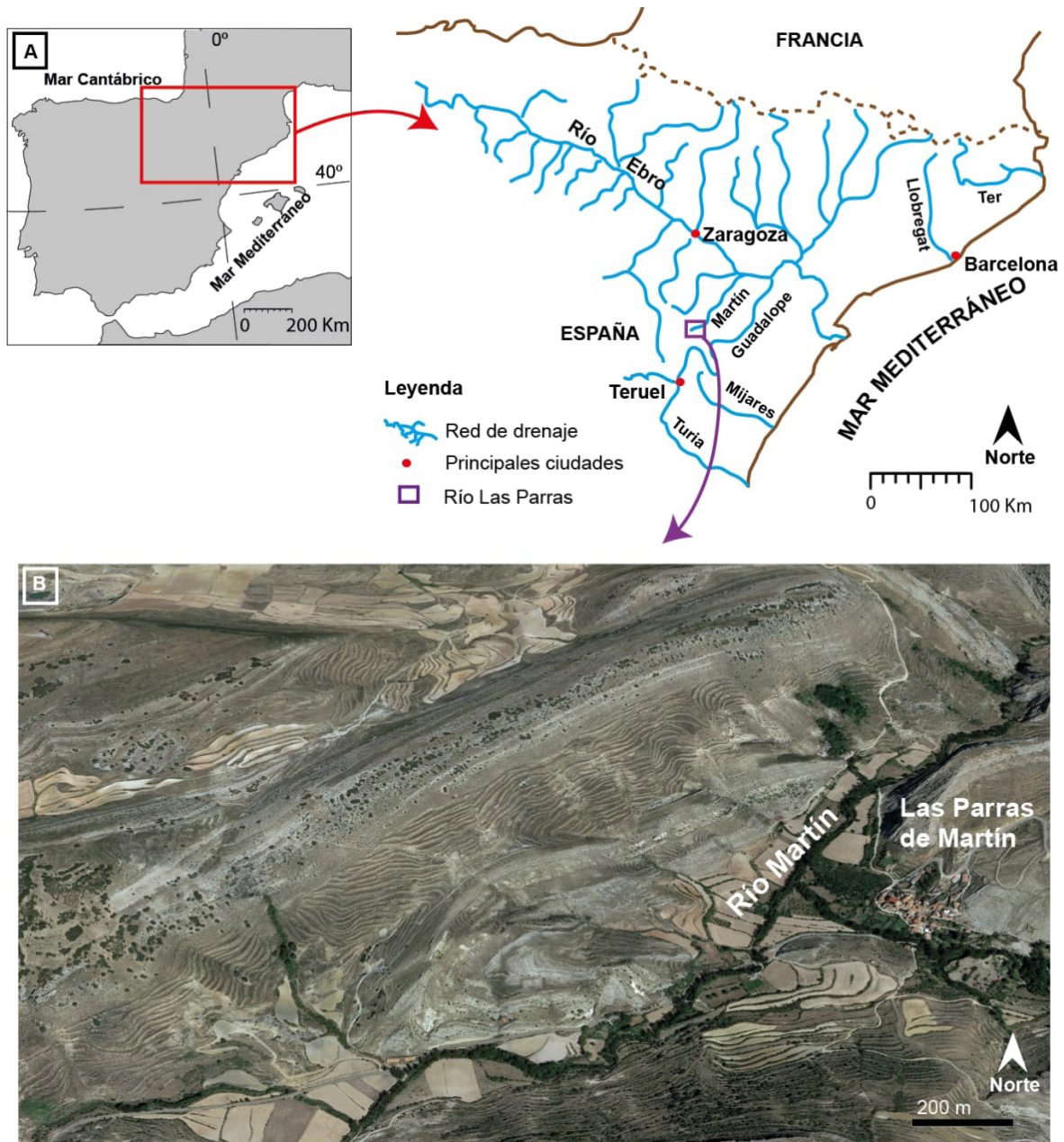


Figura 1. (A) Localización del área de estudio. El rectángulo morado corresponde al curso del río de Las Parras, afluente del río Martín. (B) Imagen de satélite del tramo del río donde se emplaza el depósito tobáceo del Nogal de El Batán (© Google Earth).

Figure 1. (A) Location of the study area. Purple rectangular figure corresponds to the course of the river Las Parras, a tributary of the river Martín. (B) Satellite image of the river transect where Nogal de El Batán tufa buildup is placed (© Google Earth).

rus sabina, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Erinacea anthyllis*, *Berberis vulgaris* y *Amelanchier ovalis*. Asimismo, en las vaguadas y zonas de umbría, diversas especies caducifolias aparecen

acantonadas, como el abedul (*Betula pendula*), melojos (*Quercus pyrenaica*), avellanos (*Corylus avellana*) y arces (*Acer monspessulanum*), entre otros.

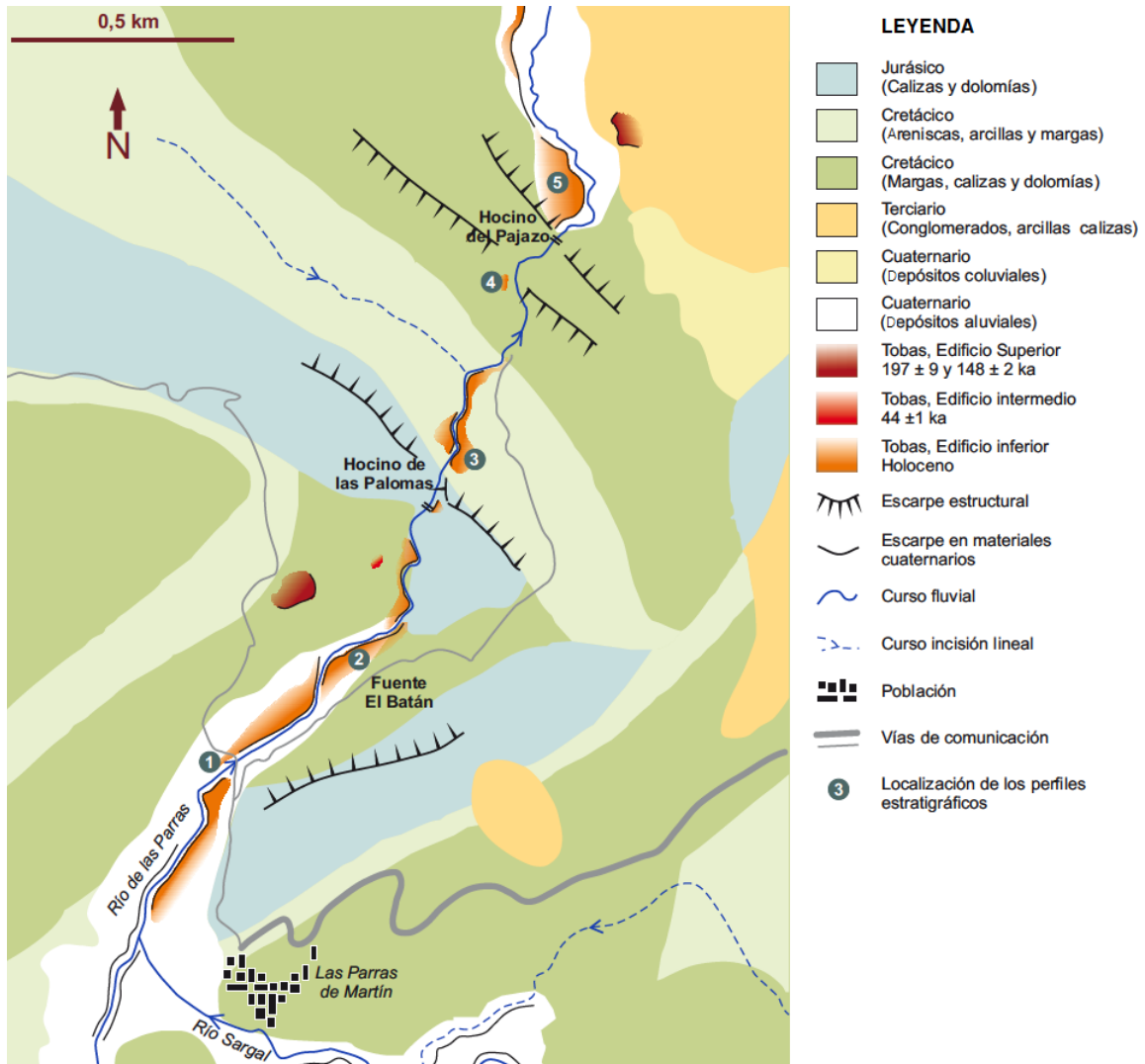


Figura 2. Esquema geológico y geomorfológico con la ubicación de los principales depósitos cuaternarios existentes en el valle del río Las Parras. Los depósitos holocenos 1 a 5 han sido analizados en Rico *et al.* (2013), mientras que las acumulaciones tobáceas de edad pleistocena se describen en Valero-Garcés *et al.* (2008). El depósito tobáceo del Nogal de El Batán se sitúa en el punto 2.

Figure 2. Regional geologic and geomorphologic sketch showing main Quaternary tufa buildups along Las Parras River valley. 1 to 5 Holocene deposits were detailed in Rico *et al.* (2013), while Pleistocene tuffs were published in Valero-Garcés *et al.* (2008). Nogal de El Batán tufa buildup is placed at point 2.

3. Metodología

Las sucesivas campañas de campo han permitido localizar y seleccionar afloramientos en los que ha sido posible levantar perfiles estratigráficos en detalle (Figs. 2 y 3). Se han muestreado distintos niveles fértiles en términos palinológicos, además de obtener numerosos restos de materia orgánica y fragmentos de

carbón, con los que se han realizado las dataciones por radiocarbono presentadas en la Tabla 1. La descripción de las facies y obtención de las muestras, sigue el criterio estratigráfico establecido por Arenas-Abad *et al.* (2010). No ha sido posible llevar a cabo un estudio antracológico debido al mal estado de conservación de la madera.

Para la extracción de polen, las muestras han sido procesadas en el laboratorio siguiendo el protocolo definido por Moore *et al.* (1991) y por Bertini *et al.* (2014), en el que se realizan diversos ataques de HF (40%), HCl (37%), KOH (10%) y flotación de la muestra mediante licor de Thoulet (CdI_2 , densidad= 2,0). Se han agregado dos pastillas de esporas marcadoras de *Lycopodium clavatum* (nº de lote 1031), por muestra, con el fin de calcular la concentración de palinomorfos (Stockmar, 1971). La lectura de las muestras palinológicas se ha realizado mediante microscopio óptico y la identificación de los granos de polen sigue a Reille (1992). Se ha consultado la colección palinológica de referencia ubicada en el Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC y el fotografiado de los palinomorfos se ha realizado en el Laboratorio de Paleobotánica “Lydia Zapata” de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. El diagrama polínico se ha construido empleando

el software libre Psimpoll v. 4,25 (Bennet, 2007).

La cronología del afloramiento denominado Nogal de El Batán parte del trabajo realizado por Rico *et al.* (2013). No obstante, se han datado otros dos fragmentos de carbón (muestras PAR-7 y PAR-12) en el laboratorio de DirectAMS, constatando la edad holocena del depósito (Tabla 1). En el presente trabajo, se han vuelto a calibrar todas las fechas radiocarbónicas utilizando como software base Calib v. 8,10 (Stuiver y Reimer, 1993) y aplicando las últimas curvas de calibración (Reimer *et al.*, 2020). Cabe destacar que el componente palinológico es consistente con las edades arrojadas por el laboratorio, confirmando la cronología postglaciar de los depósitos. Con el fin de sintetizar las dataciones realizadas en el valle, se indican también las dataciones de U/Th realizadas por Valero-Garcés *et al.* (2008), aguas arriba del depósito del Nogal de El Batán (Tabla 2).

Tabla 1. Edades obtenidas a partir de la datación por radiocarbono del depósito tobáceo del Nogal de El Batán. Las dataciones se han realizado sobre carbón y turba en los laboratorios de Poznan Radiocarbon Laboratory y DirectAMS.

Table 1. Radiocarbon dates obtained for Nogal del Batán tufa buildup. Radiocarbon analysis was performed on charcoal and tufa samples and measured in Poznan Radiocarbon Laboratory and DirectAMS laboratories.

Lab ID	Muestra	Depósito	Material	Datación (^{14}C AMS yr BP)	Error (yr BP)	Media de ^{14}C (cal yr BP)
Poz-45347	BAT-5	Batán	Carbón	4070	40	4565
D-AMS 026050	PAR-12	Batán	Turba	3912	27	4350
D-AMS 026051	PAR-7	Batán	Turba	4537	44	5165
Poz-45348	BAT-2	Batán	Carbón	5390	40	6210
Poz-45349	BAT-1	Batán	Carbón	7570	70	8380

Tabla 2. Edades obtenidas a partir de series U/Th para el afloramiento aguas arriba del depósito tobáceo Nogal de El Batán. Aunque los errores de datación son elevados, confirman las edades holocenas arrojadas por radiocarbono.

Table 2. U/Th dates obtained for the upstream outcrop of Nogal de El Batán tufa buildup. Although the results are not representative, they support the Holocene chronologies reported by the radiocarbon method.

Muestra	^{238}U ppb	^{238}Th ppb	$\delta^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ppm	Edad corregida (años BP)
BAT-X	258 ± 1	1229 ± 38	$494,6 \pm 7,3$	$0,07272 \pm 0,00556$	$27,5 \pm 2,1$	$4572,6 \pm 598,9$
BAT-7	316 ± 1	24034 ± 79	$495,2 \pm 3,2$	$0,10643 \pm 0,00325$	$23,0 \pm 0,7$	$6532,6 \pm 787,1$

4. Resultados

4.1. Estratigrafía y sedimentología

A lo largo de los márgenes del río es posible ubicar distintos edificios de morfología aterrazada, los cuales se asocian mayoritariamente al estrechamiento del perfil del cauce fluvial y a la discontinuidad topográfica del propio sustrato (Fig. 1B). No obstante, otros depósitos se relacionan con áreas más amplias y de menor pendiente.

El perfil de Nogal de El Batán presenta una potencia sedimentaria de 8,2 m (Fig. 3). Se reconoce un nivel de gravas en la base del afloramiento, al que siguen depósitos de composición caliza, margosa y/o carbonosa (turba).

Las gravas forman un depósito cuya geometría es imprecisa debido a que su base se encuentra cubierta (Fig. 3). Tienen fábrica no granosostenida, localmente granosostenida, con matriz de margas verdosas y grises. Constan de clastos de diversa composición litológica y origen (extraclastos de rocas carbonatadas del Mesozoico, de hasta 20 cm de longitud; intraclastos de margas y *mudstones* grises y verdosos, de hasta 20 cm de longitud, y fragmentos carbonosos de color gris oscuro y negro de longitud centimétrica); son heterométricos y carecen de organización interna. Hacia la parte superior del depósito, se observa una superfi-

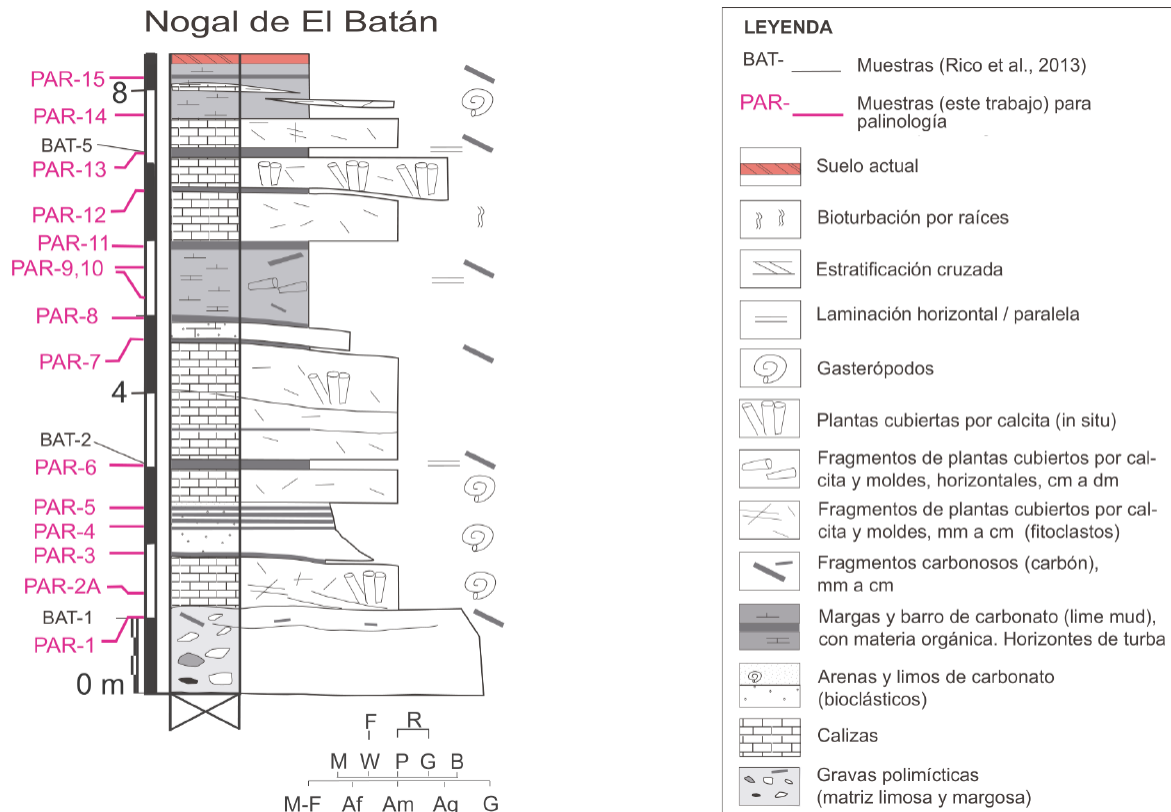


Figura 3. Características estratigráficas y sedimentológicas del depósito tobáceo del Nogal de El Batán. Las siglas correspondientes a PAR- señalan la posición de las muestras palinológicas obtenidas a lo largo del perfil, mientras que las de BAT- hacen referencia a las dataciones radiocarbónicas publicadas en el trabajo de Rico *et al.* (2013).

Figure 3. Main stratigraphic and sedimentologic features of Nogal de El Batán tuffa deposit. PAR- label indicates the stratigraphic position of the pollen samples obtained in the buildup, while BAT- refers to radiocarbon dates previously published by Rico *et al.* (2013).

cie suavemente canaliforme. El contacto con el cuerpo suprayacente de calizas es neto (Fig. 3).

Las calizas se disponen en cuerpos tabulares y lenticulares de espesor centimétrico hasta casi 1 m, de color crema-beige y amarillo-marrón claro. Consisten en *rudstones* y *packstones* de fitoclastos, *boundstones* de cubiertas de tallos (de hasta 10 cm de altura) y limos y arenas de composición carbonatada, así como *lime mud* (barro carbonatado) (Fig. 3).

Los fitoclastos y cubiertas de tallos son tubos formados por envueltas laminadas de calcita que ha precipitado alrededor de tallos; el espesor de las envueltas es de milimétrico a unos pocos centímetros; la parte orgánica de los tallos ya no se conserva y generalmente su espacio está vacío. En otros casos, la textura se refiere a las impresiones de tallos y hojas (moldes externos), que a veces están dispuestos de forma horizontal (p. ej., metro 5,5 del perfil de la Fig. 3). La longitud de los tallos va-

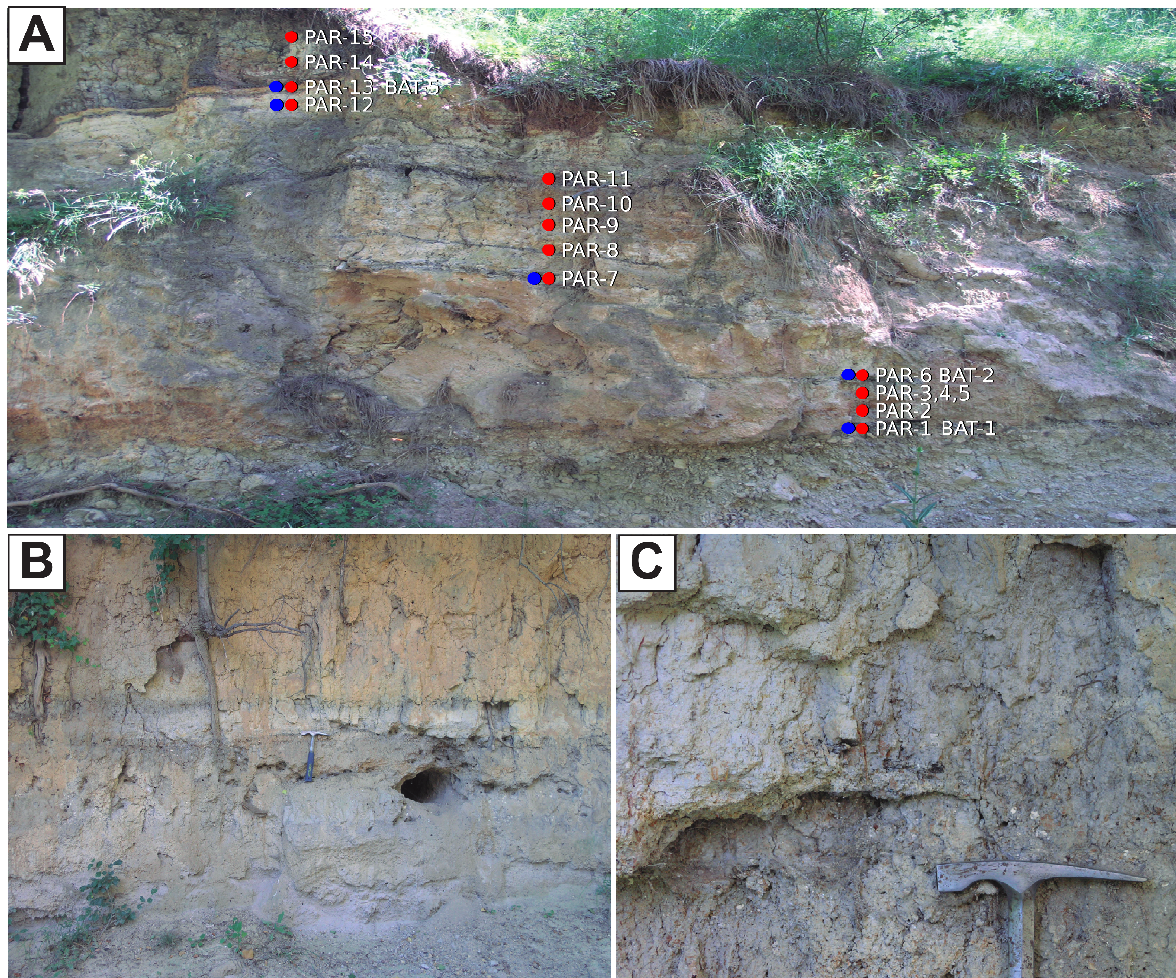


Figura 4. (A) Posición estratigráfica de las muestras para datación con radiocarbono (en azul) y análisis palinológico (en rojo) en el depósito tobáceo del Nogal de El Batán. (B) Niveles fértiles en términos palinológicos asociados a zonas remansadas (lacustres) a lo largo del valle fluvial; consisten en limos y arenas bioclásticas con intervalos ricos en materia orgánica carbonosa. (C) Detalle de los niveles orgánicos con presencia de gasterópodos.

Figure 4. (A) Stratigraphic position of radiocarbon (in blue) and palynological (in red) samples obtained from Nogal de El Batán tufa buildup. (B) Fertile palynological levels related to lacustrine environments; they consist on silts and bioclastic sands with peaty horizons and carbonaceous debris. (C) Detail of organic-rich levels with abundant gastropods.

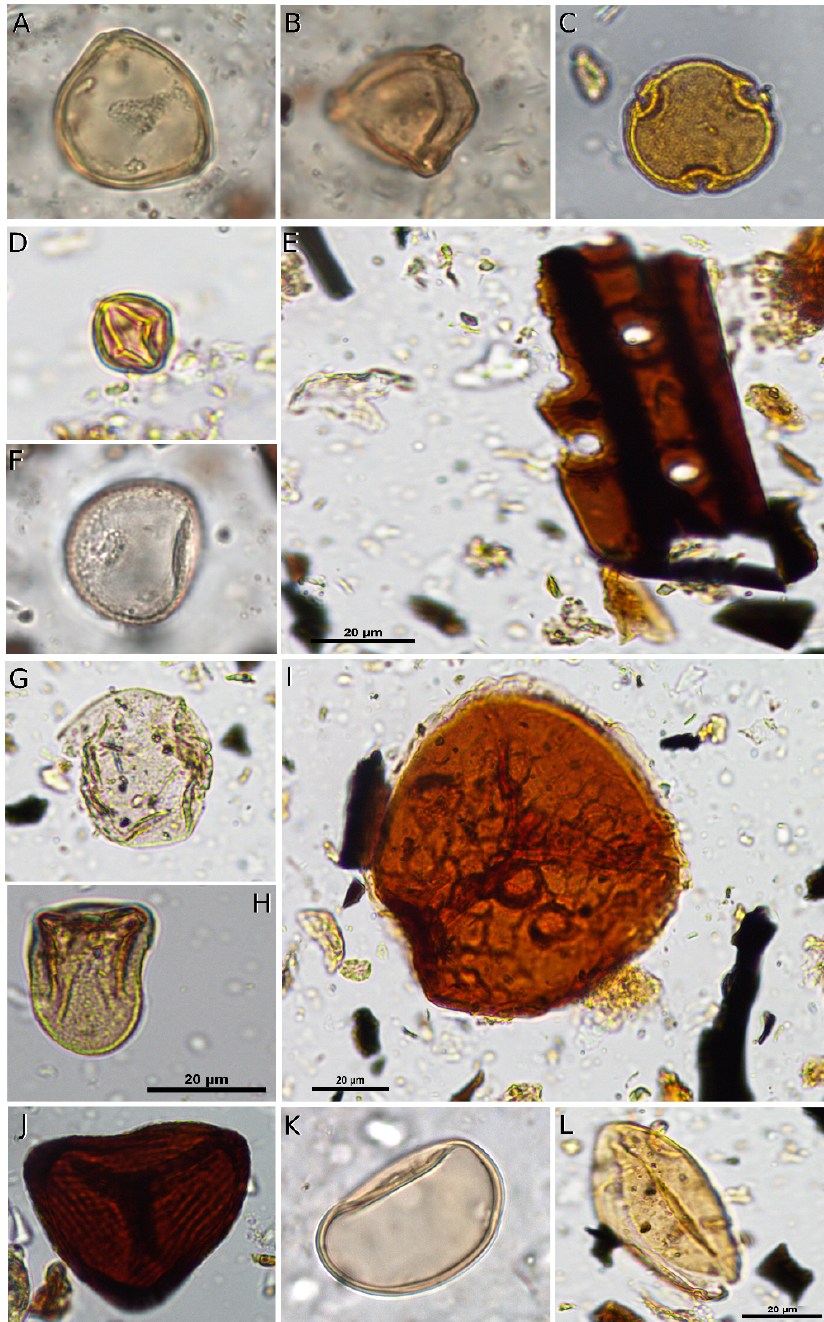


Figura 5. Fotografía al microscopio óptico de taxones mesófitos y riparios, higro-hidrófitos, pteridófitas y palinórfos no polínicos acuáticos más representativos del depósito tobáceo del Nogal de El Batán. Nótese la excepcional preservación. (A) *Corylus*, (B) *Betula*, (C) *Tilia*, (D) *Castanea*, (E) Materia orgánica parcialmente preservada junto con presencia de partículas de microcarbón (<150 µm), (F) *Typha latifolia* tipo, (G) *Juncus*, (H) Cyperaceae, (I) *Selaginella*, (J) Espora trilete, (K) Espora monolete lisa, (L) *Spirogyra*.

Figure 5. Optical microscopic photographs of commonly represented mesophytes and riparian taxa, hygro-hydrophytes, pteridophytes and aquatic non pollen palynomorphs in Nogal de El Batán tufa buildup.

Note the exceptional preservation of the samples. (A) *Corylus*, (B) *Betula*, (C) *Tilia*, (D) *Castanea*, (E) Partially preserved organic matter with microcharcoal (<150 µm), (F) *Typha latifolia* type, (G) *Juncus*, (H) Cyperaceae, (I) *Selaginella*, (J) Trilete spore, (K) Monolete spore, (L) *Spirogyra*.

ría entre micrométrica y 15 cm. El diámetro varía entre unos pocos milímetros y varios centímetros. Las facies groseras (*rudstones*) presentan organización interna caótica, a veces granodecreciente en el tamaño de los fitoclastos, y con suave estratificación cruzada en la base (p. ej., metro 1,3 del perfil de la Fig. 3).

Las facies finas (*packstones* y arenas y limos de carbonato) incluyen gasterópodos acuáticos y bivalvos, enteros y a veces rotos, fragmentos e impresiones de vegetales carbonosos y fitoclastos milimétricos o de pocos centímetros (Fig. 4C). Los depósitos de margas y *lime mud* forman cuerpos tabulares y lenticulares (de base cóncava), de hasta 1,3 m de espesor; se caracterizan por su color gris y marrón, a veces muy oscuro (Fig. 4A y 4B), por su contenido en materia orgánica, y la inclusión de láminas y bandas de espesor centimétrico, de color más oscuro, gris a negro, de turba (Fig. 4A).

4.2. Resultados palinológicos

Se han analizado un total de 15 muestras polínicas en el perfil del Nogal de El Batán, extraídos de niveles orgánicos con restos vegetales parcialmente preservados (Figs. 3 y 4A). Estas facies se asocian a ambientes palustres y lacustres estancados, es decir, zonas estables desde el punto de vista paleoambiental, por lo que la sedimentación y acumulación de los palinomorfos ocurre en condiciones de poca energía (Bertini *et al.*, 2014; Aranbarri *et al.*, 2016). De este modo, la inferencia del ecosistema vegetal de las inmediaciones del depósito a estudiar puede realizarse siguiendo una metodología similar a la de los contextos lacustres o de turbera. La muestra PAR-2A ha resultado estéril.

La concentración polínica del depósito tobáceo del Nogal de El Batán es alta, oscilando entre 14430 y 246350 granos de polen/gr sedimento. Las facies ricas en materia orgánica correlacionan con las máximas frecuencias de flora higrófila (*Juncus*, Cyperaceae, *Typha latifolia* tipo) (Figs. 5 y 6).

La secuencia se caracteriza a lo largo de todo el perfil por el dominio de taxones arbóreos, en especial pinos de montaña (*Pinus nigra/sylvestris* tipo), seguido de sabinas (*Juniperus*), además de diversa flora mesófila como *Quercus faginea/pyrenaica* tipo, *Corylus*, *Alnus*, *Salix*, *Fraxinus* y *Juglans*, entre otros (Fig. 6).

El componente termófilo adquiere relevancia durante el Holoceno medio, siendo *Quercus ilex/coccifera* tipo, *Pistacia*, *Rhamnus*, *Arbutus* y *Olea* los taxones que más representación tienen en todo el perfil (Fig. 6, muestras PAR-3 a PAR-8). Son destacables también las frecuencias adquiridas por las labiadas (Lamiaceae) y el matorral xerófilo compuesto por *Ephedra distachya* tipo, Rosaceae y *Genista*, esta última especialmente evidente en cronologías más recientes (Fig. 6, muestras PAR-12 a PAR-15).

Por último, a techo de la secuencia, el aporte de polen arbóreo sufre un claro descenso, en especial *Pinus nigra/sylvestris* tipo, mientras que los taxones nitrófilos y ruderales, al igual que géneros comúnmente asociados a la ganadería como *Plantago* y *Urtica*, además de *Artemisia*, Asteraceae, Cichorioideae, *Cirsium/Carduus* tipo, Brassicaceae o Geraniaceae, se expanden (Fig. 6). El incremento de esporas de la familia Sordariaceae apunta a que las actividades humanas tenían un peso importante en las inmediaciones del perfil de Nogal de El Batán.

5. Discusión

Los datos palinológicos obtenidos en el depósito del Nogal de El Batán, reconstruyen de manera precisa la dinámica de la vegetación a lo largo del Holoceno en una región donde los estudios paleoambientales escasean de manera notoria. A día de hoy, la mayor parte de estudios realizados en la provincia turolense, se han centrado en reconstruir el paisaje vegetal a partir de yacimientos arqueológicos, como es el caso de Los Baños de Ariño (Badal, 2004; González-Sampériz, 2004) o el abrigo de Angel I (Alcolea, 2017). A pesar de que es-

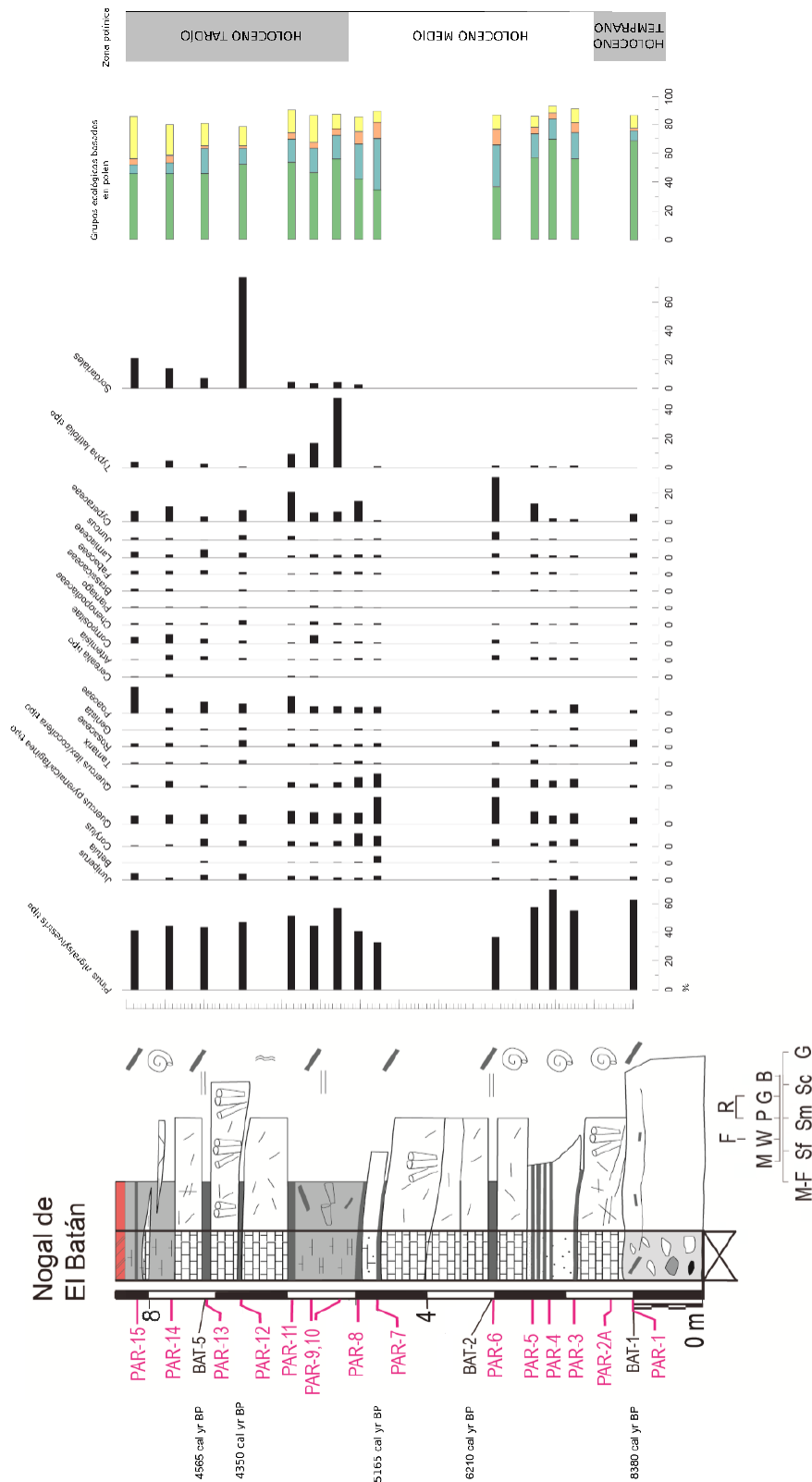


Figura 6. Resultados palinológicos sintéticos del depósito tobáceo del Nopal de El Batán. Los grupos ecológicos están compuestos por: (en verde, pinos) *Pinus nigra/sylvestris* tipo; (en azul, mesófitos y taxones riparios) *Betula*, *Corylus*, *Carpinus betulus*, *Alnus*, *Salix*, *Populus*, *Celtis*, *Fraxinus*, *Acer*, *Fagus*, *Tilia*, *Ilex*, *Juglans*, *Castanea* y *Quercus faginea/pyrenaica* tipo; (en naranja, taxones mediterráneos) *Quercus ilex/coccifera* tipo, *Pistacia*, *Rhamnus*, *Thymelaea*, *Ligustrum*, *Olea*, *Oleaceae* y *Arbutus*; (en amarillo, taxones ruderales y hierbas nitrófilas) *Poaceae*, *Cerealia* tipo, *Artemisia*, *Cichorioideae*, *Asterioideae*, *Carduus/Cirsium* tipo, *Centaurea* y *Chenopodiaceae*.

Figure 6. Synthetic pollen results from Nopal de El Batán tuff buildup. Main ecological groups are defined as: (in green, pines) *Pinus nigra/sylvestris* type; (in blue, mesophytes and riparian taxa) *Betula*, *Corylus*, *Carpinus betulus*, *Alnus*, *Salix*, *Populus*, *Celtis*, *Fraxinus*, *Acer*, *Fagus*, *Tilia*, *Ilex*, *Juglans*, *Castanea* and *Quercus faginea/pyrenaica* type; (in orange, mediterranean taxa) *Quercus ilex/coccifera* type, *Pistacia*, *Rhamnus*, *Thymelaea*, *Ligustrum*, *Olea*, *Oleaceae* and *Arbutus*; (in yellow, ruderals and nitrophilous herbs) *Poaceae*, *Cerealia* type, *Artemisia*, *Cichorioideae*, *Asterioideae*, *Carduus/Cirsium* type, *Centaurea* and *Chenopodiaceae*.

tos registros aportan información indispensable sobre el uso del territorio y las prácticas económicas que en él se desarrollan a lo largo de la Prehistoria, no tienen por objetivo directo enfatizar en cuáles han sido las fases de expansión y desarrollo vegetal regional, ni las condiciones climáticas que lo han propiciado. Se conoce muy pobremente la distribución pasada de las masas vegetales en el sector sur de la Cordillera Ibérica, sin indagar en detalle sobre qué especies la han protagonizado. Las secuencias polínicas regionales disponibles, como el Cañizar de Villarquemado (Aranbarri *et al.*, 2014) y Orihuela del Tremedal (Stevenson, 2000), han contextualizado la respuesta de la vegetación a la dinámica climática del Tardiglaciár y el Holoceno en las inmediaciones del Macizo de Albarracín, mientras que las descripciones de macroflora realizadas por Martínez-Tudela *et al.* (1986) en el río Matarraña, o por Rubio Millán (2000-2002) en el Cañizar del Olivar, ambos registros tobáceos, complementan la riqueza paleoflorística local durante el Cuaternario. Los datos palinológicos obtenidos en la secuencia del perfil Nogal de El Batán convergen con los trabajos paleobotánicos mencionados, permitiendo estructurar la dinámica vegetal al sur de la Cordillera Ibérica en tres grandes periodos que, *grosso modo*, se correlacionan con la dinámica paleoambiental del mundo Mediterráneo Ibérico (Carrión *et al.*, 2010; Pérez-Obiol *et al.*, 2011).

Rico *et al.* (2013) interpretaron la formación de los depósitos del perfil Nogal de El Batán como resultado de la sedimentación en condiciones tranquilas, con agua en suave movimiento según la dirección de la corriente, o con agua estancada. Se favorecería así el desarrollo de ambientes ricos en gasterópodos, vegetación higro-hidrófila y condiciones anóxicas. Buena parte del sedimento procedería de la desintegración de otras tobas formadas aguas arriba, junto con la precipitación de calcita. Durante los momentos de estancamiento, las condiciones de anoxia favorecerían la conservación de materia orgánica procedente de plantas acuáticas, formando turba (Figs. 3 y 4B). Los rasgos descritos, junto con la loca-

lización del depósito en una zona abierta del valle, entre dos estrechos, permiten interpretar su formación en zonas represadas por cascadas-barreras, coincidiendo con una disminución de la pendiente topográfica.

5.1. Holoceno temprano final (ca. 8400 cal BP): dominio de pinares y sabinas

Los datos polínicos de la secuencia sedimentaria de Nogal de El Batán señalan, durante el Holoceno temprano (ca. 8400 cal BP), un paisaje dominado esencialmente por pinares de alta montaña (*Pinus nigra/sylvestris* tipo), especies bien adaptadas a un clima continental Mediterráneo. Los registros polínicos regionales concuerdan con los resultados obtenidos, y señalan la baja representación de taxones meso-termófilos en gran parte del mundo interior peninsular. La secuencia de Orihuela del Tremedal, en el Macizo del Albarracín, señala valores superiores al 80% de *Pinus* con frecuencias relativamente bajas de abedul (*Betula*) y avellano (*Corylus*) hasta bien entrado el Holoceno (ca. 9600 cal BP) (Stevenson, 2000). En el registro paleolacustre de Villarquemado, serán formaciones de *Pinus nigra/sylvestris* tipo, junto con *Juniperus*, las comunidades mejor representadas en el paisaje vegetal en edades similares (11700-8000 cal BP) (Aranbarri *et al.*, 2014). A escala supra-regional, el dominio de coníferas se constata en los yacimientos de época mesolítica de la cuenca central del Ebro (Badal, 2013; Alcolea, 2017; Aranbarri *et al.*, 2020), además de en secuencias lacustres como la de Estanya (González-Sampériz *et al.*, 2017) y en los testigos sedimentarios procedentes de lagunas saladas (González-Sampériz *et al.*, 2008). De manera similar, la secuencia polínica obtenida en Gallocanta denota la amplia presencia de pinares al comienzo del Holoceno, a pesar de que la cronología del registro extraído resulta imprecisa (Luzón *et al.*, 2007).

Son numerosos los trabajos que han apuntado a una baja presencia de especies meso-termófilas en los perfiles polínicos del mundo continental Ibérico durante los primeros mi-

lenios del Holoceno, a diferencia de la región Eurosiberiana peninsular, donde las especies caducifolias presentan una mayor distribución que la actual (Carrión *et al.*, 2010; Iriarte-Chiapusso *et al.*, 2016). El establecimiento de unas condiciones más cálidas y húmedas en la zona norte de la Península Ibérica, dio paso rápidamente a un paisaje arbolado en detrimento de las poblaciones de coníferas y flora asociada a medios xero-criófilos (Morellón *et al.*, 2018). En cambio, la gran amplitud térmica que caracteriza las parameras calcáreas de la meseta peninsular, modula, tanto en la actualidad como durante el Holoceno temprano (11700-8000 cal BP), el régimen climático regional, siendo las poblaciones de coníferas las únicas comunidades vegetales capaces de amortiguar las adversidades del clima en la región (Rubiales *et al.*, 2010). Los indicadores geoquímicos y sedimentológicos de los registros lacustres de Villarquemado (Aranbarri *et al.*, 2014) o Estanya (Morellón *et al.*, 2009), entre otros, señalan un claro déficit hídrico en la Cuenca del Ebro entre 11700-9000 cal BP.

La formación de tobas fluviales puede ser un indicador clave a la hora de reconstruir las características climáticas en el momento de la precipitación del carbonato (Pedley *et al.*, 1996). A pesar de la multitud de factores que intervienen en el desarrollo de las tobas, su mayor desarrollo se asocia con periodos interglaciales (González-Amuchastegui y Serrano, 2013; Sancho *et al.*, 2015). El depósito del Nogal de El Batán comienza su crecimiento hace 8400 años y continúa de manera ininterrumpida hasta hace, aproximadamente, 4300 años cal BP (Fig. 3). No obstante, y en sincronía con los resultados polínicos y climáticos regionales, no existe ninguna evidencia de acumulaciones tobáceas en el río de Las Parras al inicio del Holoceno (Tabla 1). Este mismo patrón se observa prácticamente en toda la Cordillera Ibérica (Sancho *et al.*, 2015; Aranbarri *et al.*, 2016; Luzón *et al.*, 2017), y en la Cuenca Alta del Ebro (González-Amuchastegui y Serrano, 2015) (Tabla 3), señalando un claro déficit hídrico y/o unas temperaturas bajas que dificultarían la precipitación del

carbonato durante la entrada a la fase postglacial.

5.2. Holoceno medio (8000-5000 cal BP): expansión de quejigares y encinares en la Cordillera Ibérica

El incremento de la humedad en el ámbito continental Mediterráneo peninsular se traduce en el alcance y permanencia de unos niveles lacustres altos, máximos en las secuencias de Villarquemado (Aranbarri *et al.*, 2014), Estanya (Morellón *et al.*, 2009) o Gallocanta (Luzón *et al.*, 2007) durante el Holoceno medio (8000-5000 cal BP). Además, es durante este período cuando ocurre la máxima acumulación tobácea a lo largo de la Cuenca del Ebro y la Cordillera Ibérica (González-Amuchastegui y Serrano, 2015; Sancho *et al.*, 2015; Aranbarri *et al.*, 2016; Luzón *et al.*, 2017) (Tabla 3), la cual se asocia a la reactivación de los sistemas fluviales kársticos a nivel peninsular (Benito *et al.*, 2008). Los trabajos de Soligo *et al.* (2002) y Capezzuoli *et al.* (2010), sugieren que la mayor parte de la formación de depósitos carbonatados fluviales ocurre entre hace 9000 y 4000 años cal BP a escala de la cuenca Mediterránea, en respuesta a la rápida precipitación de carbonato bajo unas condiciones climáticas regionales más oceánicas (Roberts *et al.*, 2011).

La flora responde de manera inmediata a este aporte de humedad, pero en especial a una drástica reducción de la amplitud térmica, factor vital para albergar comunidades adaptadas a unas características menos extremas. Esto explica la presencia de una mayor cantidad de elementos mediterráneos en el perfil polínico del Nogal de El Batán durante el Holoceno medio (Fig. 6). Los resultados de las impresiones vegetales presentados por Rubio Millán (2000-2002) señalan una flora similar a la actual, en la que destacan, entre otras, especies plano-caducifolias como *Corylus avellana*, *Salix* cf. *pedicellata*, *Salix* sp., cf. *Prunus padus*, cf. *Evonymus*, además de *Ilex aquifolium* y *Pinus nigra*. El autor infiere unas condiciones climáticas algo más húmedas y frías

Tabla 3. Depósitos tobáceos de edad Holoceno temprano de la Cordillera Ibérica y Cuenca Alta de Ebro mencionados en la discusión. Se indica en negrita el inicio de la génesis de los depósitos tobáceos según las dataciones por radiocarbono aportadas por los autores. Nótese el vacío cronológico en los primeros milenios del Holoceno.

Table 3. Early Holocene tufa deposits located in the Iberian Range and Upper Ebro Basin. The ages of tufa based on radiocarbon dating have also been quoted. Note the lack of dates comprising the first Holocene millennia.

Lab ID	Muestra	Depósito	^{14}C AMS yr BP	Media de ^{14}C (cal yr BP)	Referencia
Poz-45347 D-AMS 026050 D-AMS 026051 Poz-45348 Poz-45349	BAT-5 PAR-12 PAR-7 BAT-2 BAT-1	Nogal de El Batán	4070 \pm 40 3912 \pm 27 4537 \pm 44 5390 \pm 40 7570 \pm 70	4665 4350 5165 6210 8380	Presente estudio
Poz-37953 Poz-45346 Poz-45345 Poz-45343	T-HPa2-13 T-HPa2-1 T-HPa1-09 T-HPa1-03	Hocino de las Palomas	3095 \pm 35 3650 \pm 35 4850 \pm 50 8780 \pm 50	3300 3970 5580 9795	Rico et al., 2013
301276 301275 Poz-37952	T-HPj-15 T-HPj-14 T-HPj-1	Hocino del Pajazo	2990 \pm 30 3900 \pm 40 7480 \pm 50	3175 4330 8290	Rico et al., 2013
D-AMS 008306 D-AMS 008307 D-AMS 013885	Val-1 Top Val-1 Base Val-2 Base	Val	6237 \pm 33 6722 \pm 35 8580 \pm 35	7160 7590 9540	Aranbarri et al., 2016
UZ-5868/ETH-40991 UZ-5869/ETH-40992 UZ-5870/ETH-41029 UZ-5871/ETH-41030	AN12-82D AN12-120D AN12-131D AN12-141D	Añamaza	3725 \pm 35 8675 \pm 35 8735 \pm 35 8705 \pm 35	4070 9620 9695 9640	Luzón et al., 2017
GrN25980 GrN25979 GrN25978 GrN25977	Purón 4 Purón 3 Purón 2 Purón 1	Purón	5770 \pm 110 4700 \pm 40 6790 \pm 40 8320 \pm 400	6570 5405 7635 9270	González-Amuchastegui y Serrano, 2015

que las presentes, cronológicamente asignadas a un interglaciar precedente.

5.3. Holoceno tardío (post-5000 cal BP): retorno de la aridez, pinares y primeras evidencias de uso del territorio

Los últimos 5000 años de historia ambiental en el mundo mediterráneo se traducen en una progresiva aridificación del clima e incremento de las actividades humanas (Roberts *et al.*, 2011), lo que provoca una clara modificación en la fisonomía del paisaje vegetal. A rasgos generales, la flora caducifolia sufre un claro retroceso, mientras que el bosque esclerófilo y los pinares adquieren protagonismo regionalmente, en especial en el tercio meridional de la Península Ibérica (Carrión *et al.*,

2010), y claramente en el sur de la Cordillera Ibérica (Stevenson, 2000; Aranbarri *et al.*, 2014). Las secuencias lacustres como Estanya (Morellón *et al.*, 2009; González-Sampériz *et al.*, 2017) y Villarquemado (Aranbarri *et al.*, 2014), presentan unos niveles de profundidad de agua reducidos en comparación con el Holoceno medio, mientras que la formación de depósitos tobáceos cesa prácticamente en toda la Cordillera Ibérica (Lozano *et al.*, 2012; González-Amuchastegui y Serrano, 2015; Sancho *et al.*, 2015; Aranbarri *et al.*, 2016; Luzón *et al.*, 2017) (Tabla 3).

El componente polínico de Nogal de El Batán señala una progresiva expansión de pinares en detrimento del bosque caducifolio, ampliamente desarrollado a lo largo del curso del río de Las Parras durante el Holoceno me-

dio (8000-5000 cal BP) (Fig. 6). Este cambio se asocia al establecimiento de un régimen climático continental, definido por una drástica reducción pluviométrica e incremento de la amplitud térmica (Aranbarri *et al.*, 2014; González-Sampériz *et al.*, 2017), afectando negativamente a la precipitación de carbonato cálcico y, por consiguiente, al desarrollo tobáceo (Sancho *et al.*, 2015). La remarcable reducción del componente vegetal higrófilo (e.j., Cyperaceae, *Typha latifolia* tipo) apunta una reducción de la lámina de agua o, al menos, la disminución de la superficie del ambiente inundado de agua y/o palustre a lo largo del valle fluvial.

Resulta imposible no mencionar la remarcable expansión de flora nitrófila y ruderal que se observa a techo de la secuencia. Los datos sugieren el establecimiento de una agricultura incipiente en la zona, apoyada en gran medida por la expansión del pastoreo. El incremento exponencial de esporas coprófilas de la familia Sordariales (Fig. 6), explica en gran medida, esa disminución del componente arbóreo al final de la secuencia estudiada. De esta forma, el paisaje estaría colonizado por matorral xerófilo de labiadas (Lamiaceae) y aliagas (*Genista*), comunidades que prácticamente estaban ausentes en el paisaje de edades anteriores (Fig. 6). Estas primeras manifestaciones de impacto humano ocurren en torno a la datación de 4565 cal BP (Tabla 1), e indican un uso primitivo del paisaje vegetal por comunidades humanas durante el Calcolítico. La presencia de granos de polen del tipo Cerealia, junto con el aumento de las proporciones de gramíneas y compuestas, señala el inicio de la agricultura en el valle. No obstante, se desconoce en detalle la localización exacta de estas poblaciones en las inmediaciones del afloramiento. Queda mucho trabajo por hacer y muchas incógnitas por despejar respecto a los primeros cambios ambientales de origen antrópico que ocurrieron en la región sur de la Cordillera Ibérica durante la Prehistoria reciente, en especial ligadas a la introducción de la agricultura y modos de gestión del bosque.

6. Conclusiones

Los resultados palinológicos obtenidos en el depósito del Nogal de El Batán manifiestan el potencial de las tobas fluviales a la hora de indagar en la flora pretérita peninsular. Localizados en una zona fragmentaria desde el punto de vista paleofitogeográfico, los datos palinológicos han evidenciado tres fases bien diferenciadas que convergen con los trabajos paleoambientales regionales: 1) la presencia de pinares de alta montaña durante el Holoceno temprano final, en respuesta a unas condiciones climáticas continentales; 2) el desarrollo de un bosque ripario denso y diverso localmente, y la expansión regional del bosque mixto Mediterráneo en el piso meso-Mediterráneo durante el Holoceno medio, y 3) el impacto humano durante el Holoceno tardío, vinculado a la expansión agro-pastoril en las inmediaciones del curso fluvial del río de Las Parras.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido realizado gracias a las Ayudas de Investigación concedidas por el Instituto de Estudios Turolenses (Convocatoria 2015), el proyecto DINAMO 2 (CGL 2012-33063), DINAMO 3 (CGL2015-69160-R) y el Grupo de Investigación Consolidado en Prehistoria (IT-1223-19). Este trabajo es un homenaje a nuestro compañero y amigo, Carlos Sancho Marcén, que falleció en febrero de 2019. Su entusiasmo por la Geología nos hizo explorar nuevos horizontes.

Bibliografía

- Alcolea, M. (2017). Mesolithic fuel use and woodland in the Middle Ebro Valley (NE Spain) through wood charcoal analysis. *Quaternary International*, 431, 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.029>
- Ali, A.A., Carcaillet, C., Guendon, J.-L., Quinif, Y., Roinon, P., Terral, J.-F. (2003). The Early Holocene treeline in the southern French Alps: new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography*, 12, 411-419. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00055.x>

- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M.P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J.S. (2014). Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe. *Global and Planetary Change*, 114, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.01.003>
- Aranbarri, J., Bartolome, M., Alcolea, M., Sancho, C., Celant, A., González-Sampériz, P., Arenas, C., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J. (2016). Palaeobotanical insights from early-mid Holocene fluvial tufas in the Moncayo Natural Park (Iberian Range, NE Spain): regional correlations and biogeographic implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 234, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2016.08.006>
- Aranbarri, J., Alcolea, M., Badal, E., Vila, S., Allué, E., Iriarte-Chiapusso, M.J., Sebastián, M., Magri, D., González-Sampériz, P. (2020). Holocene history of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) woodlands in the Ebro Basin (NE Spain): Climate-biased or human-induced? *Review of Palaeobotany and Palynology*, 104240. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104240>
- Arenas-Abad, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G., Sancho-Marcén, C. (2010). Fluvial and associated carbonate deposits. En: Alonso Zarza, A.M., Tanner, L.H. (Eds.), Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes: Development in Sedimentology, 61, 133-175. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(09\)06103-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06103-2)
- Badal, E. (2004). Análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). En: Utrilla, P. y Rodanés, J.M. (Eds.), Un asentamiento epipaleolítico en el valle del Río Martín. El Abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). Monografías Arqueológicas, 39, 63-74 pp.
- Badal, E. (2013). Los usos de los vegetales leñosos en el Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza) durante la ocupación mesolítica. En: Rodanés, J.M., Picazo, J.V. (Eds.), El Campamento Mesolítico Del Cabezo de La Cruz. La Muela, Zaragoza. Monografías Arqueológicas, 45, 83-99 pp.
- Benito, G., Thondycraft, V.R., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopena, A. (2008). Paleoflood and floodplain records from Spain: evidence for long-term climate variability and environmental changes. *Geomorphology*, 101, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.020>
- Bennett, K.D. (2007). Psimpoll and pscomb programs for plotting and analysis. Available online at University of Cambridge, Cambridge, UK. URL: <http://www.chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>
- Bertini, A., Minissale, A., Ricci, M. (2014). Palynological approach in upper Quaternary terrestrial carbonates of central Italy: Anything but a "mission impossible". *Sedimentology*, 61, 200-220. <https://doi.org/10.1111/sed.12079>
- Bridgland, D.R., Field, N.H., Holmes, J.A., McNabb, J., Preece, R.C., Selby, I., Wymer, J.J., Boreham, S., Irving, B.G., Parfitt, S.A., Stuart, A.J. (1999). Middle Pleistocene interglacial Thames-Medway deposits at Clacton-on-Sea, England: reconsideration of the biostratigraphical and environmental context of the type Clactonian Palaeolithic industry. *Quaternary Science Reviews*, 18, 109-146. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(97\)00092-9](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(97)00092-9)
- Capezzuoli, E., Gandin, A., Sandrelli, F. (2010). Calcareous tufa as indicators of climatic variability: a case from the Southern Tuscany (Italy). *Geological Society, London, Special Publications*, 336, 263-281. <https://doi.org/10.1144/SP336.14>
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F. (2010). Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162, 458-475. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.12.007>
- Dabkowski, J. (2014). High potential of calcareous tufas for integrative multidisciplinary studies and prospects for archaeology in Europe. *Journal of Archaeological Science*, 52, 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.07.013>
- Domínguez-Villar, D., Vázquez-Navarro, J.A., Krklec, K., Lojen, S., López-Sáez, J.A., Dorado-Valiño, M., Fairchild, I.J. (2020). Millennial climate oscillations controlled the structure and evolution of Termination II. *Scientific Reports*, 10, 14912. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72121-4>
- González-Amuchástegui, M.J., Serrano, E. (2013). Acumulaciones tobáceas y evolución del paisaje: cronología y fases morfogénicas en el Alto Ebro (Burgos). *Cuaternario y Geomorfología*, 27(1-2), 9-32.
- González-Amuchástegui, M.J., Serrano, E. (2015). Tufa buildups, landscape evolution and human impact during the Holocene in the Upper Ebro

- Basin. *Quaternary International*, 364, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.032>
- González-Sampériz, P. (2004). Análisis palinológico del yacimiento de Los Baños de Ariño (Teruel). En: Utrilla, P. y Rodanés, J.M. (Eds.), Un asentamiento epipaleolítico en el valle del Río Martín. El Abrigo de los Baños (Ariño, Teruel), Monografías Arqueológicas, 39, 59-62 pp.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., Delgado-Huertas, A. (2008). Vegetation changes and hydrological fluctuations in the Central Ebro Basin (NE Spain) since the Late Glacial period: saline lake records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259(2-3), 157-181. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.005>
- González-Sampériz, P., Aranbarri, J., Pérez-Sanz, A., Gil-Romera, G., Moreno, A., Leunda, M., Sevilla-Callejo, M., Corella, J.P., Morellón, M., Oliva, B., Valero-Garcés, B. (2017). Environmental and climate change in the southern Central Pyrenees since the Last Glacial Maximum: a view from the lake records. *Catena*, 149, 668-688. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.041>
- Iriarte-Chiapusso, M.J., Muñoz Sobrino, C., Gómez-Orellana, L., Hernández-Beloqui, B., García-Moreiras, I., Fernández Rodríguez, C., Heiri, O., Lotter, A.F., Ramil-Rego, P. (2016). Reviewing the Lateglacial-Holocene transition in NW Iberia: a palaeoecological approach based on the comparison between dissimilar regions. *Quaternary International*, 403, 211-236. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.029>
- Lozano, M.V., Sancho, C., Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Ortiz, J.E., De Torres, T., Pardo, G., Osácar, M.C., Auqué, L. (2012). Análisis preliminar de las tobas cuaternarias del río Ebrón (Castielfabib, Valencia, Cordillera Ibérica). *Geogaceta*, 51, 51-54.
- Luzón, A., Pérez, A., Mayayo, M.J., Soria, A.R., Sánchez Goñi, M.F., Roc, A.C. (2007). Holocene environmental changes in the Gallocanta lacustrine basin, Iberian Range, NE Spain. *The Holocene*, 17, 649-663. <https://doi.org/10.1177/0959683607078994>
- Luzón, A., Gauthier, A., Pérez, A., Pueyo-Anchuela, O., Mayayo, M.J., Muñoz, A. (2017). Late Pleistocene-Holocene palaeoenvironmental evolution of the Añamaza River valley (Iberian Range, NE Spain): multidisciplinary approach on the study of carbonate fluvial systems. *Quaternary International*, 437 (PA), 51-70. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.004>
- Martínez-Tudela, A. (1986). Los travertinos del Río Matarraña, Beceite (Teruel). Estudio paleobotánico. Tesina de licenciatura (inédita). Universitat de València: Burjassot, 151 pp. 5 anexos, 8 láminas.
- Martínez-Tudela, A., Cuenca, F., Santisteban, C., Grun, R., Hentzsch, B. (1986). Los travertinos del Río Matarraña, Beceite (Teruel) como indicadores paleoclimáticos del Cuaternario. En: López-Vera, A. (Ed.), *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, Universidad Autónoma de Madrid: Madrid, 307-324 pp.
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collison, M.E. (1991). Pollen analysis. Blackwell scientific publications, Oxford, 216 pp.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P. (2009). Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: the Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews*, 28, 2582-2599. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.05.014>
- Morellón, M., Aranbarri, J., Moreno, A., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L. (2018). Early Holocene humidity patterns in the Iberian Peninsula reconstructed from lake, pollen and speleothem records. *Quaternary Science Reviews*, 181, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.016>
- Pedley, H.M., Andrews, J., Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Gonzales Martin, J.A., Taylor, D. (1996). Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121, 239-25. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(95\)00080-1](https://doi.org/10.1016/0031-0182(95)00080-1)
- Peña-Monné, J.L., Sancho, C., Lozano, M.V. (2000). Climatic and tectonic significance of Late Pleistocene and Holocene tufa deposits in the Mijares River canyon, eastern Iberian Range, northeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1403-1417. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200012\)25:13<1403::AID-ESP147>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200012)25:13<1403::AID-ESP147>3.0.CO;2-N)
- Peña-Monné, J.L., Sancho, C., Arenas, A., Auqué, L., Longares, L.A., Lozano, M.V., Meléndez, A., Osácar, C., Pardo, G., Vázquez-Urbez, M. (2014). Las tobas cuaternarias en el sector aragonés de la Cordillera Ibérica. En: González-Martín, J.A. y González-Amuchastegui, M.J. (Eds.), *Las tobas en España*, Sociedad Española de Geomorfología: Madrid, 159-172.

- Peña-Monné, J.L., Pérez Alberti, A., Sampietro Vattuone, M.M., Otero, X.L., Sánchez Fabre, M., Longares Aladrén, L.A. (2017). The Holocene stratified screes from Sierra de Albarracín (Iberian Ranges, Spain) and their paleoenvironmental significance. *The Holocene*, 0959683617729454. <https://doi.org/10.1177/0959683617729454>
- Peñalver, E., Badía Gimeno, S.J., Muñoz Bertomeu, J., Ruiz González, M.X. (2002). Interés patrimonial de los travertinos del río Matarraña, Beceite; un yacimiento paleobotánico a proteger. En: El Patrimonio Paleontológico de Teruel, Meléndez, G y Peñalver, E. (Coords). Instituto de Estudios Turolenses: Teruel, 305-324.
- Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte-Chiapusso, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B. (2011). Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene*, 21(1), 75-93. <https://doi.org/10.1177/0959683610384161>
- Reille, M. (1992). Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord: Laboratoire de botanique historique et palynologie. URA CNRS, Marseille, France, 520 pp.
- Reimer, P.J., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reining, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62, 1-33. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Ricci, M., Bertini, A., Capezzuoli, E., Horvatinčić, N., Andrews, J.E., Fauquette, S., Fedi, M. (2015). Palynological investigation of a Late Quaternary calcareous tufa and travertine deposit: the case study of Bagnoli in the Valdelsa Basin (Tuscany, central Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 218, 184-197. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2014.10.004>
- Rico, M.T., Sancho-Marcén, C., Arenas-Abad, M.C., Vázquez-Urbez, M., Valero-Garcés, B.L. (2013). El sistema de barreras tobáceas Holocenas de las Parras de Martín (Cordillera Ibérica, Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39, 141-158. <https://doi.org/10.18172/cig.2003>
- Roberts, N., Brayshaw, D., Kuzucuoglu, C., Pérez, R., Sadori, L. (2011). The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: causes and consequences. *The Holocene*, 21, 3-13. <https://doi.org/10.1177/0959683610388058>
- Roiron, P., Chabal, L., Figueiral, I., Terral, J.-F., Ali, A.A. (2013). Palaeobiogeography of *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco in the north-western Mediterranean Basin: a review based on macroremains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 194, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2013.03.002>
- Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Hernández, L., Génova, M., Martínez, F., Manzanque, F.G., Morla, C. (2010). Late Quaternary dynamics of pinewoods in the Iberian Mountains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162, 476-491. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.11.008>
- Rubio Millán, C. (2000-2002). Estudio paleobotánico en tobas carbonatadas del cuaternario de la localidad del Cañizar del Olivar (Teruel). *Teruel*, 88-89, 155-177.
- Sancho, C., Peña-Monné, J.L., Meléndez, A. (1997). Controls on Holocene and present-day travertine formation in the Guadalaviar River (Iberian Chain, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 41, 289-307. <https://doi.org/10.1127/zfg/41/1997/289>
- Sancho, C., Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Lozano, M.V., Peña-Monné, J.L., Hellstrom, J., Ortiz, J.E., Osácar, M.C., Auqué, L., Torres, T. (2015). Climatic implications of the Quaternary fluvial tufa record in the NE Iberian Peninsula over the last 500 ka. *Quaternary Research*, 84, 398-414. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2015.08.003>
- Soligo, M., Tuccimei, P., Barberi, R., Delitala, M.C., Miccadei, E., Taddeucci, A. (2002). U/Th dating of freshwater travertine from Middle Velino Valley (Central Italy): paleoclimatic and geological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 184, 147-161. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00253-5)
- Stevenson, A.C. (2000). The Holocene Forest History of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene*, 10, 603-610. <https://doi.org/10.1191/095968300670543500>
- Stockmar, J. (1971). Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et spores*, 13, 165-621.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. (1993). Extended 14C Data Base and Revised CALIB 3.0 14C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35, 215-230. <https://doi.org/10.1017/S0033822200013904>

- Tagliasacchi, E., Kayseri-Özer, M.S. (2020). Multi-disciplinary approach for palaeoclimatic signals of the non-marine carbonates: The case of the Sarikavak tufa deposits (Afyon, SW-Turkey). *Quaternary International*, 544, 41-56. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.12.016>
- Taylor, D.M., Griffiths, H.I., Pedley, H.M., Prince, I. (1994). Radiocarbon-dated Holocene pollen and ostracod sequences from barrage-dammed fluvial systems in the White Peak, Derbyshire, UK. *The Holocene*, 4(4), 356-364. <https://doi.org/10.1177/095968369400400403>
- Taylor, D.M., Pedley, H.M., Davies, P., Wright, M.W. (1998). Pollen and mollusc records for environmental change in central Spain during the mid- and late Holocene. *The Holocene*, 8, 605-612. <https://doi.org/10.1191/095968398667891349>
- Valero-Garcés, B., Moreno, A., Morellón, M., Corella, J.P., González-Sampériz, P., Mata, P. (2008). Cronología de las tobas de ladera del río de Las Parras (Cordillera Ibérica, Teruel). *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008*, 71-74.
- Vázquez-Navarro, J., Ortiz, J.E., Torres, T., Domínguez-Villar, D., Vázquez, Á. (2014). Las tobas de la Rama Castellana y del Sector Levantino del Sistema Ibérico de Cuenca, Castellón y Valencia. En: González-Martín, J.A. y González-Amuchastegui, M.J. (Eds.), *Las tobas en España*, Sociedad Española de Geomorfología: Madrid, 249-266.
- Vermoere, M., Degryse, P., Vanhecke, L., Muchez, P., Paulissen, E., Smets, E., Waelkens, M. (1999). Pollen analysis of two travertine sections in Basköy (southwestern Turkey): implications for environmental conditions during the early Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 105, 93-110. [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(98\)00068-2](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(98)00068-2)

Recibido el 26 de diciembre de 2020

Aceptado el 24 de abril de 2021

